10.22092/spij.2020.119083

مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۳۴، شماره ۳، سال ۱۳۹۷

برآورد ترکیب‌پذیری و عمل ژن برای برخی خصوصیات مربوط به کیفیت غذایی و پخت در برنج (*Oryza sativa* L.)

Estimation of Combining Ability and Gene Action for Some Nutritional and Cooking Quality Related Characteristics in Rice (*Oryza sativa* L.)

راویه حیدری[۱]، نادعلی باقری[۲]، نادعلی بابائیان جلودار[۳] و حمید نجفی زرینی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۹

چکیده

حیدری، ر.، باقری، ن.، بابائیان جلودار، ن.، و نجفی زرینی، ح. ۱۳۹۷. برآورد ترکیب‌پذیری و عمل ژن برای برخی خصوصیات مربوط به کیفیت غذایی و پخت در برنج (*Oryza sativa* L.). **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۳۴:** ۳۰۶-۲۸۷.

مصرف برنج حاوی مواد معدنی و فیتوشیمیایی مفید با کاهش خطر توسعه بیماری‌ها همراه می‌باشد. درک تنوع، ساختار ژنتیکی و کمیت مواد فیتوشیمیایی موجود در برنج برای شروع برنامه به‌نژادی در راستای بهبود سلامت انسان حیاتی و در انتخاب نوع روش به‌نژادی مهم می‌باشد. در این پژوهش، بین شش ژنوتیپ به اسامی سپیدرود، آمل۲، دانش، آبجی‌بوجی، موسی‌طارم و صدری به عنوان پایه مادری (لاین) با چهار ژنوتیپ به اسامی غریب، اوندا، فجر و IR64724R به عنوان پایه پدری (تستر) در سال ۱۳۹۵ دورگ‌گیری انجام شد. نتاج حاصل به همراه والدین (۳۴ ژنوتیپ) در سال ۱۳۹۶ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ارزیابی و کیفیت غذایی شامل: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل، کاروتنوئیدها، کربوهیدرات‌های محلول و نامحلول، آهن، روی و پروتئین و کیفیت پخت شامل آمیلوز، درجه حرارت ژلاتینی‌شدن و غلظت ژل اندازه‌گیری شد. برآورد اجزای واریانس ژنتیکی برای صفات مورد مطالعه نشان داد که سهم واریانس غیرافزایشی بیشتر از واریانس افزایشی بود. بررسی ترکیب‌پذیری عمومی والدین نشان داد که بطور کلی، تستر فجر و غریب به ترتیب بهترین ترکیب‌شونده از نظر عملکرد و خصوصیات غذایی بجز کربوهیدرات‌های محلول و پروتئین، و کاروتنوئید و پروتئین شناخته شدند. با بررسی ترکیب‌پذیری خصوصی دورگ‌ها جهت افزایش کیفیت غذایی به همراه کیفیت پخت و عملکرد مطلوب، دورگ غریب × موسی‌طارم برترین دورگ شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: برنج، عمل غیرافزایشی ژن، پروتئین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، لاین × تستر.

نگارنده مسئول: nadalibagheri@yahoo.com تلفن: ۰۱۱۳۳۶۸۷۷۱۵

مقدمه

برنج در ایران و در بسیاری از کشورهای در حال توسعه نقش بسیار مهمی را در تغذیه و همچنین اقتصاد کشور بازی می کند (Sabouri *et al.* 2012). بنابراین توجه به جنبه‌های تغذیه‌ای آن دارای اهمیت می‌باشد. بعد از عملکرد، کیفیت دانه به عنوان دومین هدف به‌نژادی برای بهبود محصول می‌باشد. اصلاح ارقام برنج مطمئن‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای بهبود کیفیت دانه است (Kibria *et al.,* 2008).

برنج از نظر خصوصیات کیفیت رایج برای مصرف کنندگان، به کیفیت ظاهری، کیفیت تبدیل، کیفیت پخت و کیفیت غذایی تقسیم می‌شود (Koutroubas *et al.,* 2004). آمیلوز، درجه حرارت ژلاتینی‌شدن و غلظت ژل از شاخص‌های مهم کیفیت برای بررسی پخت می‌باشند. کیفیت تغذیه‌ای در کشورهای در حال توسعه که مصرف یکنواخت برنج (بخاطر حذف لایه سبوس که غنی از مواد غذایی پروتئین، فیبر، مواد معدنی، ویتامین‌ها و سایر ترکیبات فیتوشیمیایی است) منجر به کمبود مواد معدنی، ویتامین‌ها و سایر ترکیبات غذایی می‌باشد، بسیار حائز اهمیت است (Shen *et al.,* 2009).

از مهم‌ترین ترکیبات فیتوشیمیایی در دانه می‌توان به ترکیبات فنلی، کاروتنوئید و آنتی‌اکسیدان‌ها نام برد (Liu *et al.,* 2007) که بررسی‌ها نشان داده‌اند که در ارتباط با کاهش توسعه بیماری‌های قلبی- عروقی، دیابت نوع دوم و بعضی سرطان‌ها می‌باشند (Shen *et al.,* 2009) از این رو، جنبه‌های غذایی برنج حائز اهمیت است.

برای دستیابی به عملکرد و کیفیت بالا در برنج، استفاده از واریته‌های جدید حاصل از گزینش یا دورگ‌گیری بین ارقام ضروری است. به لحاظ ژنتیکی ترکیب ژن‌های بعضی ژنوتیپ‌های به ظاهر ضعیف، می‌تواند منجر به نتاج برتر و یا برعکس نتاج حاصل از ارقام نسبتا خوب ممکن است نامطلوب باشد. بنابراین برآمد ترکیب‌پذیری ارقام با یکدیگر در اکثر برنامه‌های دورگ‌گیری مهم بنظر می‌رسد (Kiani and Hajipour, 2016).

یکی از روش‌ها در اندازه‌گیری قدرت ترکیب‌پذیری،تجزیه لاین×تستر است (Hajipour Bagheri *et al.,* 2005). این روش به به‌نژادگر کمک می کند تا نحوه عمل ژن در تظاهر صفت (افزایش و غیرافزایشی) را تعیین و والدین با ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و هیبریدهای با ترکیب‌پذیری خصوصی بالا را شناسایی نمایند تا بتوانند در مورد برنامه‌های به‌نژادی و راهبردهای گزینش ژنوتیپ‌ها تصمیم‌گیری نماید (de la Vega and Chapman, 2006).

مطالعاتی در ارتباط با درک چگونگی توارث صفات مختلف برنج با استفاده از مطالعات ژنتیک کمّی انجام شده است. در این راستا در تحقیقی، شریفی و اسلامی

(Sharifi and Eslami, 2012) تجزیه دای‌آلل به روش گریفینگ را برای پروتئین، آهن و روی با هفت والد حسنی، دیلمانی، سپیدرود، شاه‌پسند، صالح، ندا و IRFAON215 انجام دادند که نتایج آنها موید نقش غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی میزان پروتئین و میزان آهن دانه بود. برای میزان روی دانه هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی نقش داشتند که نقش اثر غیرافزایشی بیشتر از افزایشی بود. محققان پیشنهاد نمودند که از روش‌های به‌نژادی مبتنی بر هیبرید و هتروزیس می‌توان برای بهبود این صفات استفاده نمود.

قربانی‌پور و ربیعی (GhorbaniPour and Rabiei, 2011) با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها وجود اثر افزایشی را درکنترل میزان پروتئین دانه، مقدار آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینی شدن نشان دادند. در مطالعه‌ای بر روی چهار لاین با استفاده از طرح کارولینای شمالی II، سهم بیشتر اثر غالبیت نسبت به افزایشی در کنترل ژنتیکی پروتئین گزارش شد (Won *et al.,* 2002). در تلاقی دای‌آلل با هفت والد، نتایج نشان داد که مقدار واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) بیشتر از واریانس ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) برای محتوای پروتئین، محتوای آمیلوز، روی و آهن بود که این نشان‌دهنده کنترل صفت تحت تاثیر عمل غیرافزایشی ژن می‌باشد (Adilakshmi and Upendra, 2014).

در یک آزمایش بر روی ۱۳ والد با استفاده از طرح کارولینای شمالی II، سهم بیشتر اثر افزایشی و غالبیت ژن‌ها در کنترل مقدار آمیلوز و سهم بیشتر اثر غالبیت ژن‌ها در کنترل میزان پروتئین گزارش گردید (Lin *et al.,* 2005). اله‌قلی‌پور و همکاران (Allahgholipour *et al.,* 2007) در مطالعه خود بر روی پنج لاین باارور (سپیدرود، IR53R، IR62030R، SA13R و SA14R) و چهار تستر (IR58025A، SA15A، IR79124A و IR78378A) برای عملکرد دانه، میزان آمیلوز، درجه حرارت ژلاتینی‌شدن و غلظت ژل سهم ناچیز واریانس افزایشی و ترکیب‌پذیری خصوصی را گزارش نمودند و برای افزایش این صفات تولید بذر هیبرید را پیشنهاد نمودند.

ربیعی و علی‌حسین طایفه (Rabiei and Ali-Hossein Tayefeh, 2015) در مطالعات خود روی نسل F_2 حاصل از تلاقی دای‌آلل با شش والد حسنی، شاه‌پسند، کادوس، واندانا، هاشمی و IR36 بیان کردند که آمیلوز، غلظت ژل و درجه حرارت ژلاتینی شدن تحت کنترل اثر افزایشی ژن‌ها بود و میزان وراثت‌پذیری خصوصی بالای این صفات سهم اثر افزایشی را بارزتر نشان داد.

ماهالینگام و نداراجان (Mahalingam and Nadarajan, 2010) در تلاقی حاصل از سه لاین با ۱۱ تستر در جمعیت مورد مطالعه خود، عنوان کردند که میزان آمیلوز و غلظت ژل در برنج تحت کنترل اثر افزایشی و غالبیت می‌باشند. اله‌قلی‌پور و

همکاران (Allahgholipour *et al.,* 2015) در مطالعه دای‌آلل بر روی عملکرد دانه و غلظت ژل، اثر غیرافزایشی ژن و آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینی شدن اثر افزایشی را شناسایی نمودند. جنانامالار و ویوکانانندان (Gnanamalar and Vivekanandan, 2013) با بررسی صفات کمی و کیفیت در ارقام برنج با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها بیان کردند که مقدار آمیلوز و غلظت ژل تحت کنترل اثر غیرافزایشی ژن‌ها بودند.

بنابراین با توجه به نتایج متفاوت بدست آمده از تحقیقات محققان، در این پژوهش از میان ارقام مختلف بومی و اصلاح‌شده ایرانی، با توجه به خصوصیات غذایی (ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل، کاروتنوئید، کربوهیدرات محلول و نامحلول، آهن و روی و پروتئین)، ارقام و لاین‌های والدینی انتخاب شدند. تلاقی‌های هدفمند برای تعیین ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی والدین و تلاقی‌ها، اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل خصوصیات مرتبط با کیفیت غذایی، پخت و عملکرد، شناسایی لاین‌های والدینی مطلوب با ترکیب‌پذیری بالا و مشخص کردن ترکیب ایده‌آل به منظور تولید ارقام باکیفیت تغذیه‌ای، پخت و عملکرد انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و نوع عمل ژن، تعداد شش رقم سپیدرود، آمل۲، دانش، آبجی‌بوجی، موسی‌طارم و صدری (ژنوتیپ‌های نامطلوب به لحاظ غذایی) با تعداد چهار تستر به نام‌های غریب، اوندا، فجر و IR64724R (ژنوتیپ‌های مطلوب به لحاظ غذایی) در قالب طرح تلاقی لاین × تستر مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۱). لاین ها و تستر های مورد استفاده در این آزمایش از مطالعه تعداد زیادی والدین در ارزیابی اولیه انتخاب شده اند.

در سال اول (۱۳۹۵) ، هر یک از لاین‌ها با چهار تستر تلاقی داده شدند. در بهار سال دوم (۱۳۹۶) ۲۴ نتاج F_1 حاصل به همراه ۱۰ والد (۳۴ ژنوتیپ) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری کشت شدند. ژنوتیپ‌ها به صورت تک نشا و به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر کشت گردیدند. خصوصیات مربوط به دانه پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، اندازه‌گیری شد.

خصوصیات مورد ارزیابی شامل صفات مرتبط با کیفیت غذایی دانه برنج: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل دانه به روش خاصیت مهار کنندگی رادیکال آزاد DPPH برحسب درصد (Butsat and Siriamornpun, 2010)، میزان فنل کل (میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم آرد) به روش خاصیت رنگ‌سنجی فولین-سیکالچو (Bao *et al.,* 2005)، میزان کاروتنوئیدهای کل (میکروگرم بر میلی‌لیتر)

جدول ۱- والدین مورد استفاده در آزمایش به همراه منشاء و میانگین خصوصیات غذایی آنها

Table 1. Parents used in the experiment with their origin and average of nutritional characteristics

Genotype	ژنوتیپ	منشا Origin	درصد ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant capacity (%)	فنل کل (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آرد) Total phenol (mg/100g flour)	کاروتنوئید (میکروگرم بر میلی‌لیتر) Carotenoid (μgml^{-1})	کربوهیدرات محلول (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آرد) Soluble carbohydrate (mg/100g flour)	کربوهیدرات نامحلول (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آرد) Insoluble carbohydrate (mg/100g flour)	میزان آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe content ($mgkg^{-1}$)	میزان روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn content ($mgkg^{-1}$)	پروتئین (میکروگرم بر گرم) Protein (μgg^{-1})
Gharib	غریب	ایران Iran	72	40.91	0.57	87.40	49.38	113.45	44.48	20.51
Onda	اوندا	ایران Iran	77	40.79	1.27	119.72	45.70	111.23	43.45	23.97
IR64724R	IR64724R	ایران Iran	79	40.05	0.89	104.97	54.41	115.9	43.13	74.34
Fajr	فجر	ایران Iran	83	48.29	0.20	95.12	53.17	110.21	48.42	27.93
Sepidroud	سپیدرود	ایران Iran	35	34.11	0.06	46.07	101.97	29.28	19.66	4.66
Amol2	آمل ۲	ایران Iran	35	35.98	2.01	60.93	135.69	22.07	21.02	1.20
Danesh	دانش	ایران Iran	19	33.82	0.79	53	108.9	31.66	30.73	0.80
Abjiboji	آبجی بوجی	ایران Iran	35	33.49	0.36	45.46	146.03	36.76	28.36	4.76
Musa-Tarom	موسی‌طارم	ایران Iran	37	34.19	0.64	47.36	130.5	32.44	24.18	0.90
Sadri	صدری	ایران Iran	40	34.20	1.71	55.56	118.24	43.23	25.36	4.25

روش لیچتن‌تالر (Lichtenthaler, 1987)، کربوهیدرات محلول و نامحلول (میلی‌گرم گلوکز در ۱۰۰ گرم آرد) روش فنل-اسیدسولفوریک (Kochert, 1978) اندازه‌گیری شد.

میزان آهن و روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) روش هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید هیدروکلریدریک (Waling *et al.,* 1989) و پروتئین (میکروگرم بر گرم) به روش برادفورد (Bradford, 1976) و صفات مربوط به کیفیت پخت برنج: میزان آمیلوز (درصد) روش جولیانو (Juliano, 1971)، درجه حرارت ژلاتینی شدن (درجه سانتی‌گراد) روش لیتل و همکاران (Little *et al.,* 1985) و غلظت ژل (میلی‌متر) روش کاگامپانگ و همکاران (Cagampang *et al.,* 1973) بودند. عملکرد والدین و هیبریدها نیز به صورت گرم در بوته اندازه‌گیری شد (Kiani and Hajipour, 2016).

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آماره‌های چولگی و کشیدگی انجام شد. تجزیه واریانس و اثبات وجود تنوع معنی‌دار بین تیمارها با نرم‌افزار SAS ver 9.1 و تجزیه داده‌ها به روش لاین × تستر (جدول تجزیه واریانس مربوطه، برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، واریانس‌های افزایشی و غالبیت و سهم لاین‌ها، تسترها و لاین ×تستر) با استفاده از بسته آماری Agricola موجود در نرم‌افزار R (Ihaka and Gentleman, 1996) انجام گردید (Kiani and Hajipour, 2016).

از آزمون t برای آزمون معنی‌داری اثر ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها و خصوصی هیبریدها استفاده شد.آزمون اثر مادری از طریق نسبت میانگین مربعات لاین‌ها به تسترها انجام شد (Allahgholipour *et al.,* 2011).

پیشرفت ژنتیکی (ΔG)، با استفاده از رابطه $\Delta G = kH_b\left(V_p\right)^{0.5}$ محاسبه شد؛ که در آن H_b نشان‌دهنده وراثت‌پذیری عمومی و V_p بیانگر واریانس فنوتیپی است و k ثابت انتخاب در شدت گزینش دلخواه می‌باشد (در این آزمایش، k معادل ۲/۰۶، با فرض شدت گزینش پنج درصد، درنظر گرفته شد). وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی به ترتیب از رابطه‌های $H_b = \frac{V_G}{V_P}$ و $H_n = \frac{V_A}{V_P}$ به دست آمد (Ahmadikhah, 2008). در اینجا V_G بیانگر واریانس ژنتیکی و V_A بیانگر واریانس افزایشی بود.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که بین تلاقی‌ها تفاوت معنی‌داری برای کلیه صفات غذایی و پخت وجود دارد (جدول ۲). تفاوت معنی‌دار والدین در برابر دورگ‌ها، حاکی از وجود هتروزیس معنی‌دار برای خصوصیات غذایی و پخت مورد بررسی در نتاج تلاقی‌ها بود.

تجزیه تلاقی‌ها به اجزای خود بر مبنای

جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات مربوط به کیفیت غذایی و پخت و عملکرد دانه برای والدین و تلاقی‌ها در برنج براساس روش لاین × تستر

Table 2. Analysis of variance of nutritional and cooking quality related traits and grain yield for parents and crosses in rice based on line × tester method

			Mean of squares میانگین مربعات											
S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df.	ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant capacity	فنل کل Total phenol	کاروتنوئید Carotenoid	کربوهیدرات محلول Soluble carbohydrate	کربوهیدرات نامحلول Insoluble carbohydrate	میزان آهن Fe content	میزان روی Zn content	میزان پروتئین Protein content	میزان آمیلوز Amylose content	درجه حرارت ژلاتینی شدن Gelatinization temperature	غلظت ژل Gel consistency	عملکرد دانه Grain yield
Block	بلوک	2	0.02^{ns}	0.002^{ns}	0.0004^{ns}	0.002^{ns}	0.001^{ns}	0.14^{ns}	0.39^{ns}	0.91^{**}	0.0007^{ns}	2.20^{ns}	2.36^{ns}	9.08^{*}
Genotype	ژنوتیپا	33	706.68^{**}	60.16^{**}	0.38^{**}	1061.81^{**}	3020.04^{**}	2339.61^{**}	172.08^{**}	173.50^{**}	10.12^{**}	65.91^{**}	134.08^{**}	1133.49^{**}
Parent (P)	والدین	9	1437.42^{**}	101.42^{**}	0.62^{**}	1762.09^{**}	3992.24^{**}	4044.41^{**}	319.91^{**}	422.51^{**}	7.24^{**}	153.41^{**}	232.87^{**}	169.45^{**}
P vs C	والدین در مقابل تلاقی‌ها	1	653.89^{**}	587.47^{**}	0.61^{**}	2826.78^{**}	70.49^{**}	5506.42^{**}	15.43^{**}	929.41^{**}	49.32^{**}	77.56^{**}	203.50^{**}	9334.06^{**}
Cross (C)	تلاقیا	23	423.03^{**}	21.08^{**}	0.27^{**}	711.14^{**}	2767.86^{**}	1534.83^{**}	121.04^{**}	43.19^{**}	10.27^{**}	31.17^{**}	92.40^{**}	1143.61^{**}
Line	لاینا	5	1684.65^{**}	27.55^{ns}	0.22^{ns}	554.49^{ns}	3211.57^{ns}	685.04^{ns}	50.57^{ns}	22.50^{ns}	16.43^{ns}	67.51^{**}	14.20^{ns}	1493.99^{ns}
Tester	تستر	3	127.75^{ns}	19.06^{ns}	0.16^{ns}	1463.08^{ns}	3188.49^{ns}	6480.27^{**}	552.87^{**}	93.14^{ns}	10.52^{ns}	26.45^{ns}	8.03^{ns}	725.80^{ns}
Line × tester	لاین × تستر	15	61.55^{**}	19.33^{**}	0.31^{**}	612.96^{**}	2535.83^{**}	829.008^{**}	58.17^{**}	40.09^{**}	8.17^{**}	20.002^{**}	92.86^{**}	1110.38^{**}
Error	خطا	66	0.02	0.002	0.0004	0.0004	0.05	0.31	0.80	0.12	0.0003	0.86	1.05	15.88
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		0.36	0.15	2.12	0.11	0.76	0.89	2.49	1.93	0.1	1.50	1.27	7.62

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: غیر معنی‌دار.

* and ** : Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ns: Not- significant.

تجزیه لاین × تستر نشان داد که تفاوت بین لاین‌ها برای صفات ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و درجه حرارت ژلاتینی‌شدن معنی‌دار بود. در مورد تسترها نیز تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای میزان آهن و روی معنی‌دار بود. عدم وجود تفاوت معنی‌دار برای میزان فنل کل، کاروتنوئید ، کربوهیدرات‌های محلول و نامحلول، میزان پروتئین، درصد آمیلوز، غلظت ژل و عملکرد در دو والد لاین و تستر نشان‌دهنده وجود نقش اثر غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل صفت می‌باشد.

اثر متقابل لاین × تستر برای کلیه صفات معنی‌دار بود. بنابراین، در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که اگرچه هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی در کنترل بعضی صفات نقش دارند، اما واریانس‌های غیرافزایشی نقش موثرتری در کنترل خصوصیات غذایی و پخت برنج ایفا می‌کنند. کمپتورن (Kempthorn, 1957) عنوان نمود که برای معنی‌دار شدن قوی اثر تلاقی‌های مربوط به یک صفت، لزومی بر معنی‌دار شدن کلیه اجزای آن (لاین‌ها، تسترها و لاین × تستر) نیست، بلکه معنی‌دار شدن تنها یک جز نیز می‌تواند سبب معنی‌دار شدن آن شود.

تجزیه ترکیب‌پذیری

برآورد ترکیب‌پذیری عمومی برای خصوصیات غذایی، پخت و عملکرد در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به معنی‌دار شدن ترکیب‌پذیری در دو جهت برای صفات مورد بررسی، می‌توان گفت که والدین پتانسیل انتقال مقادیر بالا و پایین را برای هر صفت دارا می‌باشند. از این‌رو در مواردی که افزایش یا کاهش مقدار یک صفت مطلوب باشد بایستی به ترتیب مقادیر مثبت و منفی ترکیب‌پذیری را در نظر گرفت (Falconer and Mackay, 1996). بنابراین، از بین صفات غذایی مورد بررسی برای کربوهیدرات‌های نامحلول اثر منفی قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی مطلوب می‌باشد در حالیکه در مورد سایر صفات اثر مثبت مطلوب خواهد بود.

از بین تسترهای مورد مطالعه غریب و فجر به عنوان ترکیب‌شونده‌های عمومی خوب به ترتیب برای صفات غذایی به جز کاروتنوئید و پروتئین و کربوهیدرات‌های محلول و پروتئین شناخته شدند. لاین دانش و از بین تسترها غریب و فجر برای صفت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، لاین غریب، IR64724R و فجر برای فنل کل، IR64724R و فجر برای کاروتنوئید ، غریب و اوندا برای کربوهیدرات محلول، غریب، اوندا و فجر برای کربوهیدرات نامحلول، غریب و اوندا برای میزان آهن، غریب، اوندا و فجر برای میزان روی و IR64724R برای میزان پروتئین بواسطه اثر ترکیب‌پذیری معنی‌دار به عنوان ترکیب‌شونده عمومی شناخته شدند (جدول ۳).

بررسی ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها نشان داد که در مورد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فنل کل تلاقی‌های IR64724R × دانش و غریب × موسی‌طارم دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بودند

جدول ۳- قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها برای خصوصیات مربوط به کیفیت غذایی، پخت و عملکرد دانه در برنج

Table 3. General combining ability (GCA) of lines and testers for nutritional and cooking quality related characteristics and grain yield in rice

Genotype	ژنوتیپ	ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant capacity	فنل کل Total phenol	کاروتنوئید Carotenoid	کربوهیدرات محلول Soluble carbohydrate	کربوهیدرات نامحلول Insoluble carbohydrate	میزان آهن Fe content	میزان روی Zn content	میزان پروتئین Protein content	میزان آمیلوز Amylose content	درجه حرارت ژلاتینی شدن Gelatinization temperature	غلظت ژل Gel consistency	عملکرد دانه Grain yield
Line	**لاین**												
Sepidroud (1)	سپیدرود (۱)	-5.80**	1.91**	0.10**	-8.73**	-1.01**	-6.73**	1.26**	0.75**	0.29**	-0.91**	0.40^{ns}	-20.44**
Amol2 (2)	آمل ۲ (۲)	-4.82**	-0.37**	0.08**	-4.67**	31.50**	5.81**	3.22**	0.78**	1.33**	-5.66**	-0.93**	-3.59**
Danesh (3)	دانش (۳)	24.06**	1.44**	0.04**	10.76**	-1.74**	8.28**	-0.30^{ns}	-1.23**	1.34**	0.75**	-4.01**	0.55^{ns}
Abjiboji (4)	آبجی بوجی (۴)	-2.60*	1.89**	-0.13**	-0.18**	-5.57**	-1.98**	-1.62**	-2.13**	-0.91**	0.33^{ns}	-0.90*	7.17**
Musa-Tarom (5)	موسی‌طارم (۵)	-5.88**	1.03**	-0.20**	3.97**	-7.00**	5.02**	-2.52**	0.88**	-0.71**	-0.75*	0.48^{ns}	6.30**
Sadri (6)	صدری (۶)	-4.96**	-0.96**	0.10**	-1.14**	-16.16**	10.40**	-0.04^{ns}	1.03**	-1.35**	4.25**	3.15**	10.00^{ns}
Tester	**تستر**												
Gharib (7)	غریب (۷)	0.94**	0.23**	-0.02**	0.45**	-7.24**	13.39**	1.45**	-1.84**	0.48**	-0.83**	1.65**	0.34^{ns}
Onda (8)	اوندا (۸)	-3.69**	-1.40**	-0.12**	12.10**	-0.81*	18.99**	4.69**	-0.97**	0.82**	0.16^{ns}	-1.10**	-7.97**
IR64724R (9)		-2.59**	0.10**	0.07**	-9.29**	18.96**	-18.94**	-8.02**	3.30**	-0.61**	-0.11^{ns}	-0.79**	0.78^{ns}
Fajr (10)	فجر (۱۰)	0.15*	1.06**	0.08**	-3.26**	-10.89**	-13.34**	1.87**	-0.48*	-0.68**	0.77*	0.15^{ns}	7.53**
Standard error of GCA lines	خطای استاندارد GCA لاین‌ها	0.04	0.01	0.005	0.01	0.20	0.16	0.25	0.10	0.005	0.29	0.26	1.15
Standard error of GCA testers	خطای استاندارد GCA تسترها	0.03	0.01	0.004	0.01	0.17	0.13	0.21	0.08	0.004	0.24	0.21	0.93

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: غیر معنی‌دار.

* and ** : Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ns: Not- significant.

(جدول ۴). بنابراین با توجه به ترکیب‌پذیری عمومی مثبت دانش، غریب به نظر می‌رسد که در افزایش این خصوصیت در نتاج خود نقش داشته‌اند.

برای کاروتنوئید، غریب × سپیدرود، اوندا × سپیدرود، فجر × آمل۲، غریب × دانش، فجر × دانش، IR64724R × آبجی‌بوجی، غریب × موسی‌طارم، فجر × موسی‌طارم، غریب × صدری و اوندا × صدری مثبت و معنی‌دار بودند (جدول ۴).

ترکیب‌پذیری خصوصی برای کربوهیدرات‌ها محلول نشان داد که غریب × سپیدرود، غریب × موسی‌طارم، اوندا × موسی‌طارم، غریب × صدری و فجر × صدری قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌داری داشتند که این افزایش کربوهیدرات‌های محلول و کاهش کربوهیدرات نامحلول را از والدین خود به ارث بردند (جدول ۴).

ترکیب‌پذیری خصوصی برای میزان آهن و روی در تلاقی‌های اوندا × آمل ۲، غریب × موسی‌طارم، اوندا × صدری مثبت و معنی‌دار بود. تلاقی‌های IR64724R × آمل ۲، فجر × دانش، غریب × آبجی‌بوجی، اوندا × آبجی‌بوجی، فجر × آبجی‌بوجی، غریب × موسی‌طارم، اوندا × صدری، IR64724R × صدری و فجر × صدری برای پروتئین دانه دارای ترکیب‌پذیری مثبت و معنی‌دار بودند (جدول ۴).

در مورد کیفیت پخت، لاین‌های سپیدرود، آمل۲ و دانش و تستر غریب و اوندا با دارا بودن ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار در جهت افزایش و آبجی‌بوجی، موسی‌طارم و صدری و تسترهای IR64724 و فجر با داشتن ترکیب‌پذیری عمومی منفی در جهت کاهش میزان آمیلوز در نتاج نقش داشتند (جدول ۴).

برای درجه حرارت ژلاتینی‌شدن والدین دانش، آبجی‌بوجی، صدری، اوندا و فجر در جهت افزایش و سپیدرود، آمل۲، موسی‌طارم، غریب و IR64724 در جهت کاهش نقش دارند. والدین آمل۲، دانش، اوندا و IR64724 با دارا بودن ترکیب‌پذیری عمومی منفی و والدین سپیدرود، آبجی‌بوجی، موسی‌طارم، صدری، غریب و فجر با دارا بودن ترکیب‌پذیری عمومی مثبت در غلظت ژل، به ترتیب باعث کاهش و افزایش این صفت در نتاج می‌شوند. والدها دارای ترکیب‌پذیری مثبت و منفی معنی‌دار می‌باشند، بنابراین در تلاقی با دیگر والدها می‌توانند منجر به افزایش یا کاهش کیفیت پخت گردند که بسته به هدف به‌نژادی می‌توان والدین را انتخاب کرد. بدین ترتیب با توجه به اینکه میزان متوسط این سه خصوصیت کیفیت پخت به عنوان کیفیت مطلوب محسوب می‌شود، باید به دنبال والدی بود که در ترکیب با سایر ژنوتیپ‌ها، حد متوسط از کیفیت پخت را ایجاد نماید.

والدین دانش، آبجی‌بوجی، موسی‌طارم و صدری و تسترهای غریب،

جدول ۴- ترکیب‌پذیری خصوصی دورگ‌ها برای خصوصیات مربوط به کیفیت غذایی و پخت و عملکرد دانه در برنج

Table 4. Specific combining ability (SCA) of crosses for nutritional and cooking quality related characteristics and gtain yield in rice

دورگ Cross	ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant capacity	فنل کل Total phenol	کاروتنوئید Carotenoid	کربوهیدرات محلول Soluble carbohydrate	کربوهیدرات نامحلول Insoluble carbohydrate	میزان آهن Fe content	میزان روی Zn content	میزان پروتئین Protein content	میزان آمیلوز Amylose content	درجه حرارت ژلاتینی شدن Gelatinization temperature	غلظت ژل Gel consistency	عملکرد دانه Grain yield
1 × 7	-1.81**	0.89**	0.26**	8.29**	-12.34**	-16.16**	2.51**	2.07**	0.58**	9.85**	2.93**	-0.99
1 × 8	1.00**	-2.16**	0.15**	-13.13**	-5.48**	-20.46**	1.16*	2.12**	-1.25**	-3.08**	0.26ns	24.02**
1 × 9	1.46**	-3.08**	-0.11**	-1.67**	15.40**	21.41**	-2.30**	-2.77**	0.28**	-4.47**	-2.26**	-5.58*
1 × 10	-0.65**	4.35**	-0.30**	-6.51**	2.77**	15.01**	-1.64**	-1.41**	1.55**	-2.02**	-0.09ns	-17.44**
2 × 7	-0.002	-2.17**	-0.59**	-9.47**	-2.90**	13.00**	-3.46**	-4.05**	3.11**	-8.66**	-1.06ns	-32.69**
2 × 8	2.35**	1.53**	-0.04**	8.08**	30.74**	18.43**	3.86**	-3.39**	0.85**	1.00ns	-0.73ns	-13.91**
2 × 9	0.53**	2.11**	-0.02ns	-2.10**	8.98**	-18.18**	-2.21**	9.39**	-1.95**	10.94**	1.37**	2.90ns
2 × 10	-2.89**	-1.47**	0.66**	3.49**	-36.82**	-13.25**	1.81**	-1.95**	-2.01**	-3.27**	0.43ns	-15.88**
3 × 7	1.10**	-0.32**	0.11**	-17.46**	36.62**	-11.47**	0.62ns	-1.71**	-0.25**	0.58ns	0.34ns	-22.94**
3 × 8	-12.56**	0.68**	-0.21**	31.28**	-31.31**	-12.00**	1.36**	-0.36ns	0.68**	0.91ns	-0.65ns	-13.09**
3 × 9	6.14**	2.01**	-0.07**	-9.35**	11.62**	6.95**	-1.77**	-2.11**	0.90**	1.19ns	-2.20**	3.58ns
3 × 10	5.40**	-2.36**	0.17**	-4.46**	-16.93**	16.52**	-0.25ns	0.76**	-1.33**	-2.69**	2.51**	32.45**
4 × 7	1.20**	-2.42**	-0.06**	5.45**	6.04**	1.81**	-0.24ns	0.39ns	-1.10**	-0.33ns	-0.90ns	-6.47**
4 × 8	2.90**	-0.30**	-0.04**	-16.43**	-11.74**	-0.94**	1.29*	0.14ns	0.72**	3.66**	-0.56ns	6.95**
4 × 9	-1.67**	-0.87**	0.43**	15.17**	-9.79**	9.66**	1.92*	-3.34ns	-1.26**	-7.38**	3.20**	-3.81ns
4 × 10	-0.03ns	3.59**	-0.33**	-4.19**	15.49**	-10.53**	-2.97**	2.90**	1.64**	4.05**	-1.73**	3.34ns
5 × 7	2.24**	2.60**	0.11**	11.95**	-19.23**	15.87**	0.93ns	1.33**	0.01ns	1.08ns	0.18ns	-5.11*
5 × 8	3.45**	0.47**	-0.05**	5.00**	-29.79**	14.39**	-10.93**	-2.92**	-1.80**	0.08ns	-1.15**	8.21**
5 × 9	-2.61**	-0.95**	-0.07**	-11.91**	12.56**	-18.32**	2.25**	-1.64**	1.88**	-2.97**	-2.70**	16.29**
5 × 10	-3.08**	-2.12**	0.001ns	-5.04**	36.69**	-11.95**	7.74**	-1.46**	-1.10**	1.80**	3.68**	-19.39**
6 × 7	-0.33**	1.42**	0.16**	1.24**	-8.18**	-3.04**	-0.37ns	-1.71**	-1.18**	-2.25**	-1.48**	2.83ns
6 × 8	2.93**	-0.22**	0.21**	-14.81**	47.88**	0.39ns	3.22**	1.82**	0.79**	-2.58**	2.84**	-12.18**
6 × 9	-1.72ns	0.78**	-0.16**	9.87**	-38.79**	-1.53**	1.83**	1.35**	0.14**	2.69**	2.62**	-7.57**
6 × 10	-0.86**	-1.99**	-0.21**	3.69**	-0.90*	4.18**	-4.69**	0.20ns	0.24**	2.13**	-3.98**	16.92**
SCAخطای استاندارد Standard error SCA	0.08	0.03	0.01	0.03	0.41	0.32	0.51	0.29	0.01	0.59	0.53	2.30

*و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: غیر معنی‌دار.

* and ** : Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ns: Not- significant.

IR64724-67-2-1-2-2R و فجـــــــر بـــــــا ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار به عنـوان ترکیب‌شوندگان عمومی مطلوب بـرای افـزایش عملکرد دانه می‌باشند (جـدول ۳). همـانطور کـه مشـاهده مـی‌شـود ایـن والـدین باعـث افـزایش عملکرد دانه در نتاج خود(فجر × دانش، اونـدا × آبجی‌بوجی، اونـدا × موسی‌طـارم، -IR64724 67-2-1-2-2R × موسی‌طارم و فجـر × صـدری) شدند (جـدول ۴). بنـابراین از ایـن مـواد ژنتیکـی برای رسیدن به عملکرد دانه بالا می‌توان اسـتفاده نمود.

در روش‌هـای مختلـف بـه‌نژادی، انتخـاب و بهبـود همزمـان صـفات مـد نظـر اسـت، بنـابراین انتخاب ترکیب‌هایی که در نتاج آنها ایـن قابلیـت وجود داشته باشـد، بیشـتر مـورد توجـه اسـت. بـا بررسـی ترکیـب‌پـذیری خصوصـی خصوصـیات غذایی تنها تلاقی غریب × موسی‌طارم دارای اثـر ترکیب‌پذیری خصوصی مثبـت و معنـی‌دار بـرای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنـل کـل، کاروتنوئیـد ، کربوهیـدرات‌های محلـول، میـزان آهـن، میـزان روی و میزان پروتئین دانـه و عملکـرد دانـه و اثـر ترکیب‌پذیری خصوصی منفـی و معنـی‌دار بـرای کربوهیـدرات نـامحلول بـود کـه بـرای بهبـود خصوصیات غذایی فـوق مـی‌توانـد مـورد توجـه قرار گیرد.

تلاقـــی غریـــب × موســـی‌طارم دارای ترکیب‌پذیری مثبت اما غیرمعنـی‌دار بـرای میـزان آمیلوز، درجه حرارت ژلاتینی‌شدن و غلظـت ژل بود (جدول ۴). بنـابراین اسـتفاده از ایـن ترکیـب در نیل به اهداف مطالعه که افزایش خصوصـیات تغذیه‌ای در کنار داشتن کیفیت پخت مطلوب از نظر مصرف‌کنندگان ایرانی می‌باشد حائز اهمیت است. این ترکیـب دارای عملکـرد دانـه مطلـوبی نیـــز بـــود. الـــه‌قلـــی‌پـــور و همکـــاران (Allahgholipour *et al.,* 2012) در مطالعـه خـود بـر روی ۱۶ هیبریـد بـرنج عملکـرد دانـه، اجزای عملکـرد و خصوصـیات کیفیـت را مـورد ارزیابی قرار دادند. در این آزمایش، چهار تلاقـی با دارا بـودن ترکیـب‌پـذیری خصوصـی مثبـت و معنی‌دار برای صـفات مربـوط بـه کیفیـت پخـت (آمیلوز، درجه حـرارت ژلاتینـی‌شـدن و غلظـت ژل) مناسب به همـراه عملکـرد بالاتشـخیص داده شدند.

اجزای واریانس ژنتیکی

محاســبه اجــزای واریــانس ژنتیکــی بــرای خصوصیات مورد بررسی نشان داد کـه واریـانس ترکیــب‌پــذیری خصوصــی بیشــتر ازواریــانس ترکیب‌پذیری عمومی بود که نشان‌دهنده برتـری عمل ژن غیرافزایشـی در وراثـت‌پـذیری صـفات می‌باشد. پایین بودن مقادیر نسبت‌هـای واریـانس ترکیـب‌پـذیری خصوصـی نسـبت بـه واریـانس ترکیب‌پذیری عمومی (مقادیر کمتر از یک) نیـز ایـن امـر را تاییـد مـی‌کنـد. اهمیـت بیشـتر عمـل غیرافزایشـــی ژن را در تظـــاهر صـــفات نشـــان مـی‌دهـد، امـا در مـورد ظرفیـت آنتـی‌اکسـیدانی نسـبت واریـانس ترکیـب‌پـذیری خصوصـی بـه واریانس ترکیب‌پذیری عمومی تقریبا نزدیک بـه

یک (۰/۸۸) بود که نشان از تاثیر هر دوی اثر افزایشی و غالبیت در کنترل این صفت را دارد و بهره‌مندی از تنوع افزایشی برای این خصوصیت غذایی را از طریق گزینش را نشان می‌دهد. برای سایر صفات استفاده از هیبریداسیون مناسب‌تر می‌باشد (جدول ۴).

ارزیابی اثر مادری برای خصوصیت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نشان داد که اثر مادری برای آن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان‌دهنده نقش اثر سیتوپلاسمی در کنترل این صفت بود (جدول ۵). بنابراین از واریانس لاین‌ها برای برآورد واریانس افزایشی استفاده گردید. برای سایر صفات مورد بررسی در تحقیق اثر مادری معنی‌دار نبود، بنابراین برای برآورد واریانس افزایشی از واریانس لاین‌ها و تسترها استفاده شد (جدول ۵).

میزان سهم هر کدام از منابع لاین، تستر و لاین × تستر در واریانس کل ژنتیکی نشان داد که برای همه صفات، بجز ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل دانه، میزان آهن و روی، سهم لاین × تستر بیشتر از دو منبع لاین و تستر بود. برای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت ژل سهم لاین‌ها و برای آهن و روی سهم تسترها بیشتر بود. که با توجه به معنی‌دار شدن اثر مادری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی دور از انتظار نبود. این نتیجه به همراه نتایج مربوط به وراثت‌پذیری عمومی (مقادیر بالای ۹۰ درصد) و خصوصی (مقادیر پایین ۲۰ درصد) صفات مورد مطالعه و مقایسه آنها بیانگر این مطلب است که در کنترل ژنتیکی این صفات در برنج نقش اثر غالبیت بیشتر بود (جدول ۵) .

با توجه به مطالعات آجمرا و همکاران (Ajmera *et al.,* 2017) مقدار پیشرفت ژنتیکی را می‌توان در سه دسته پایین (زیر ۱۰ درصد)، متوسط (۱۰ تا ۲۰ درصد) و بالا (بیشتر از ۲۰ درصد) قرار داد که مقادیر بالای پیشرفت ژنتیکی در انتقال صفت به نسل بعد حائز اهمیت می‌باشند. در مطالعه حاضر میزان پیشرفت ژنتیکی برای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، کربوهیدرات‌های محلول و نامحلول، میزان آهن و عملکرد دانه بیشتر از ۲۰ درصد بود که مقادیر بالا و مطلوبی برای این پارامتر می‌باشد. اما تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌های به‌نژادی برای صفات مورد مطالعه بهتر است با توجه به نتایج توام وراثت‌پذیری خصوصی و پیشرفت ژنتیکی انجام گیرد.

در این تحقیق، مقادیر وراثت‌پذیری عمومی برای صفات بالا ولی مقادیر وراثت‌پذیری خصوصی پایین بود. علاوه بر این مقدار پیشرفت ژنتیکی نیز برای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، کربوهیدرات‌های محلول و نامحلول، میزان آهن و عملکرد دانه بالا بود. بنابراین با توجه به وراثت‌پذیری خصوصی پایین و سهم کمتر واریانس افزایشی در کنترل این صفات، بازده گزینش برای این صفات پایین می‌باشد.

شریفی و اسلامی (Sharifi and Eslami, 2012) نیز تجزیه دای‌آلل به روش گریفینگ را برای پروتئین،

"مجله به‌نژادی نهال و بذر" جلد ۱-۳۴، شماره ۳، سال ۱۳۹۷

جدول ۵- اجزای واریانس ژنتیکی و سهم نسبی لاین‌ها و تسترها و اثر متقابل آنها در واریانس کل برای خصوصیات مربوط کیفیت غذایی و پخت در برنج

Table 5. Genetic variance components and proportion of contribution of lines, testers and their interaction to total variance for nutritional and cooking quality related characteristics in rice

Genetic variance compoments	اجزای واریانس ژنتیکی	ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant capacity	فنل کل Total phenol	کاروتنوئید Carotenoid	کربوهیدرات محلول Soluble carbohydrate	کربوهیدرات نامحلول Insoluble carbohydrate	میزان آهن Fe content	میزان روی Zn content	میزان پروتئین Protein content	میزان آمیلوز Amylose content	درجه حرارت ژلاتینی شدن Gelatinization temperature	غلظت ژل Gel consistency
General combining ability	واریانس ترکیب‌پذیری عمومی (δ^2_{gca})	9.11	0.04	-0.001	2.47	5.85	17.80	1.58	0.07	0.05	-0.006	0.28
Specific combining ability	واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی (δ^2_{sca})	10.25	3.22	0.05	102.14	422.55	138.11	9.56	6.66	1.36	15.27	3.19
$\delta^2_{gca}/\delta^2_{sca}$	نسبت واریانس ترکیب‌پذیری عمومی: واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی	0.88	0.01	0.02	0.02	0.01	0.12	0.16	0.01	0.03	0.0003	0.08
Environmental variance	واریانس محیطی	0.02	0.002	0.0002	0.0002	0.05	0.31	0.80	0.12	0.0003	1.05	0.86
Genetic variance	واریانس ژنتیکی	235.55	20.05	0.12	353.93	1006.66	779.76	57.09	57.79	3.37	44.34	21.68
Phenotypic variance	واریانس فنوتیپی	235.57	20.05	0.12	353.93	1006.68	780.07	57.79	57.91	3.37	45.39	22.54
Additive variance	واریانس افزایشی	36.46	0.17	0.004	9.90	23.40	71.20	6.34	0.31	0.21	0.02	1.12
Dominance variance	واریانس غالبیت	41.02	12.89	0.20	408.64	1690.21	552.46	38.24	26.64	5.45	61.08	12.76
Maternal effect	اثر مادری	13.18**	1.44	1.37	0.37	1.007	0.10	0.09	0.24	1.56	0.39	1.76
Proportion lines	سهم لاین‌ها	86.57	28.40	17.51	16.95	25.22	9.70	9.08	11.32	34.75	33.45	47.08
Proportion testers	سهم تسترها	3.93	11.79	7.80	26.83	15.02	55.07	59.57	28.12	13.35	1.13	11.07
Proportion line × tester	سهم لاین× تستر	9.48	59.80	74.68	56.21	59.75	35.22	34.34	60.54	51.86	65.41	41.84
General heritability	وراثت‌پذیری عمومی	99.99	100	100	100	99.99	99.95	98.61	99.97	100	97.68	96.18
Specific heritability	وراثت‌پذیری خصوصی	15.47	0.84	3.17	2.79	2.32	9.12	10.95	0.53	6.23	0.04	4.96
Genetic advance	پیشرفت ژنتیکی	31.30	9.22	0.71	38.75	64.70	56.95	15.36	15.51	3.78	13.46	9.38
Phenotypic Coefficient of variation	ضریب تغییرات فنوتیپی	36.93	13.12	37.89	31.69	33.49	44.46	21.05	40.88	9.37	9.79	6.41
Genotypic Coefficient of variation	ضریب تغییرات ژنوتیپی	36.93	13.12	36.85	31.69	33.49	44.46	21.005	40.88	9.37	9.75	6.36

عنصر آهن و روی انجام دادند که نتایج آنها موید نقش غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی میزان پروتئین و عنصر آهن بود. میزان عنصر روی تحت تاثیر هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی بود. شی و همکاران (Shi *et al.,* 1999) در کنترل ژنتیکی میزان پروتئین اثر ژنتیکی اصلی و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را دخیل دانستند و وراثت‌پذیری عمومی بالا برای میزان پروتئین گزارش کردند. در مطالعه‌ای برای بررسی اثر ژنتیکی میزان پروتئین نقش مهم‌تر غالبیت نسبت به افزایشی گزارش شد (Won *et al.,* 2002). نتایج این تحقیق با نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر موافقت دارد.

الله‌قلی‌پور و همکاران (Allahgholipour *et al.,* 2015) برای عملکرد دانه و غلظت ژل اثر غیرافزایشی ژن و آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینی شدن اثر افزایشی را گزارش کردند. ربیعی و علی‌حسین طایفه (Rabiei and Ali-Hossein Tayefeh, 2015) اظهار داشتند که درصد آمیلوز، غلظت ژل و درجه حرارت ژلاتینی شدن تحت کنترل اثر غالبیت ناقص ژن‌ها بود. وراثت‌پذیری بالای این صفات سهم اثر افزایشی را بارزتر نشان داد. نتایج این محققان مغایر با نتایج تحقیق حاضر بود. به نظر می‌رسد علت این عدم مطابقت که به دلیل تغییر در نوع مواد ژنتیکی (ژنوتیپ) مورد مطالعه بود (Sadeghi *et al.,* 2010; Rabiei and Ali-Hossein Tayefeh, 2015).

بنابراین روند یکسانی از نظر ماهیت ژنتیکی برای صفات مورد بررسی وجود ندارد. بطور کلی ساختار ژنتیکی و نحوه توارث صفات می‌تواند وابسته به ژنوتیپ‌های مورد استفاده باشد، چرا که این ژنوتیپ‌ها نمونه کوچکی از جامعه هستند، بنابراین برآورد اثر ژنی و سایر پارامترهای ژنتیکی ممکن است برآوردی اریب باشد (Sadeghi *et al.,* 2010).

ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی برای صفات مورد بررسی در جدول ۵ ارائه شده است. در میان صفات مختلف بیشترین میزان تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی مربوط به میزان آهن دانه با ۴۴/۵ درصد و میزان پروتئین دانه با ۴۰/۸۸ درصد بود. بنابراین در مورد این صفات می‌توان گفت که منابع ژنتیکی خوبی برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جهت بهبود این صفات وجود دارد.

ضریب تنوع ژنوتیپی بخشی از ضریب تنوع فنوتیپی می‌باشد و از این رو مقدار آن همواره کمتر از ضریب تنوع فنوتیپی است. اختلاف ناچیز موجود بین ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی برای ویژگی‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش عمده تنوع موجود ناشی از تفاوت ژنوتیپی بود و محیط تاثیر اندکی داشت.

هر چه نسبت تنوع ژنوتیپی به فنوتیپی زیاد باشد، بازدهی انتخاب بیشتر است و بهتر می‌توان ژنوتیپ‌های مطلوب را از نامطلوب تشخیص داد (Arab Tajandarreh *et al.,* 2016). در بررسی روی سه صفت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی،

فنل و فلاونوئید در سه نوع برنج سفید، قرمز و سیاه بیشترین ضریب تغییرات مربوط به ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در برنج سفید و قرمز با ۳۷/۳۳ درصد و کمترین مربوط به فلاونوئید با ۱۲ درصد بود که با تحقیق حاضر مبنی بر تنوع بالا در صفت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مطابقت دارد (Shen *et al.,* 2009).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، اجزای واریانس ژنتیکی و نقش عمل غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل خصوصیات مرتبط با کیفیت غذایی دانه، کیفیت پخت و عملکرد دانه، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد بهره‌گیری از روش دورگ‌گیری بین والدین مناسب برای بهبود این صفات گزینه بهتری باشد. اما با توجه به نقش اثر مادری و مقادیر واریانس افزایشی و غالبیت در کنترل ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، تنها این صفت بوسیله هر دوی اثر افزایشی و غالبیت کنترل می‌شود. بنابراین برای بهبود آن امکان گزینش و یا دورگ‌گیری نیز وجود خواهد داشت.

با توجه به اینکه افزایش همزمان چندین صفت در اصلاح نباتات با توجه به صرفه‌جویی در زمان و هزینه بسیار حائز اهمیت می‌باشد، با بررسی تلاقی‌ها جهت افزایش کیفیت غذایی به همراه کیفیت پخت و عملکرد دانه مطلوب تلاقی غریب × موسی‌طارم بهترین تلاقی جهت افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، کاروتنوئید، کربوهیدرات‌های محلول و نامحلول، آهن و روی، پروتئین و عملکرد دانه شناخته شد. چنانچه هدف به‌نژادگر بررسی مجزای صفات باشد می‌توان تلاقی‌های مطلوب دیگری نیز در جهت اهداف به‌نژادی پیشنهاد کرد.

سپاسگزاری

تحقیق حاضر با پشتیبانی مالی و علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد که بدین وسیله از مدیریت آن دانشگاه تشکر می‌شود. از مسئولین آزمایشگاه بیوتکنولوژی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای فراهم آوردن تجهیزات آزمایشگاهی مورد نیاز این پژوهش سپاسگزاری می‌شود. نگارندگان از کارکنان مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان برای همکاری صمیمانه آنها در انجام دورگ‌گیری‌های مورد نیاز این پژوهش تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

Adilakshmi, D., and Upendra, A. 2014. Combining ability analysis for quality and nutritional traits in rice. International Journal of Farm Sciences 4 (2): 15-23.

Ahmadikhah, A. 2008. Estimation of heritability and heterosis of some agronomic traits and combining ability of rice lines using line × tester method. Electronic Journal of Crop Production 1 (2): 15-33 (in Persian).

Ajmera, S., Sudheer Kumar, S., and Ravindebabu, V. 2017. Evaluation of genetic variability, heritability and genetic advance for yield and yield components in rice genotypes. International Journal of Pure and Applied Bioscience 5 (4): 909-915.

Allahgholipour, M., Rabiee, B., Hossieni, M., Dorosti, H., and Mohammadi, M. 2007. Study of general and specific combining ability of traits in parental lines of hybrid rice. Journal of Agriculture 9 (1): 1-13 (in Persian).

Allahgholipour, M., Farshdfar, E., and Rabiei, B. 2015. Combining ability and heritability of selected rice varieties for grain yield, its components and grain quality characters. Genetika 47 (2): 559-570.

Allahgholipour, M., Moumeni, A., Nahvi, M., Yekta, M., and Zarbafi, S. S. 2012. Identification of parental combinations for improvement of rice grain quality, yield and yield components in rice. Cereal Research 1 (1): 1-10 (in Persian).

Allahgholipour, M., Rabiei, B., and Yekta, M. 2011. Assessment of general and specific combining abilities of the starch paste viscosity properties in parental lines of hybrid rice. Iranaian Journal of Crop Sciences 13 (1): 178-193 (in Persian).

Arab Tajandarreh, E., Ismaili, A., Rezaei Nejad, A., and Karami, F. 2016. Assessment of genetic diversity and heritability of physiological and phenological characteristics of some strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) genotypes under climatic conditions of Kurdistan, Iran. Plant Genetic Researches 3 (2): 43-58 (in Persian).

Bao, J. S., Cai, Y. Sun, M., Wang, G., and Corke, H. 2005. Anthocyanins, flavonols, and free radical scavenging activity of Chinese bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 2327-2332.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgeram quantities of protein utilizing the principle of protein dye – binding. Analytical Biochemystry 72: 248-254.

Butsat, S., and Siriamornpun, S. 2010. Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of Thai rice. Food Chemistry 119 (2): 606-613.

Cagampang, G. B. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice .Journal of the Science of Food and Agriculture 24 (12): 1589-1594.

de la Vega, A. J., and Chapman, S. C. 2006. Multivariate analyses to display interactions between environment and general or specific combining ability in hybrid crops. Crop Science 46 (2): 957-967.

Falconer, D. S., and Mackay, T. F. C. 1996. Introduction to quantitative genetics. Chapman and Hall. London, 464 pp.

Ghorbanipour, A., and Rabiei, B. 2011. Genetic analysis of physical and chemical characteristics associated with grain quality in rice. Iranian Journal of Field Crop Science 42 (2): 339-347 (in Persian).

Gnanamalar, R. P., and Vivekanandan, P. 2013. Genetic architecture of grain quality characters in rice (*Oryza sativa* L.). European Journal of Experimental Biology 3 (2): 275-279.

Hajipour Bagheri, A., Nematzadeh, Gh., Peyghambari, S. A., and Noruzi, M. 2005. Estimation of combibibg ability and gene effects in rice cultivar and lines used line × tester analysis. Iranian Journal of Agricultural Science 36 (4): 947-953 (in Persian).

Ihaka, R., and Gentleman,R. 1996. R: a language for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics 5: 299-314.

Juliano, B. O. 1971. Rice: chemistry and technology. The American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 774 pp.

Kempthorne, O. 1957. An introduction to genetic statistics. John Wiley and Nordskog, Inc. Chapman and Hall Ltd. London. 545 pp.

Kiani, Gh., and Hajipour, A. 2016. Evaluation of combining ability of local and improved rice varieties using line × tester analysis. Cereal Research 6 (1): 57-64 (in Persian).

Kibria, K., Islam, M. M., and Begum, S. N. 2008. Screening of aromatic rice lines by phenotypic and molecular markers. Bangladesh Journal of Botany 37 (2): 141- 147.

Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. Pp. 96-97. In: Helebust, J. A., Craigie J. S. (eds.): Hand book of physiological methods. Cambridge University Press, Cambridge, London.

Koutroubas, S. D., Mazzini, F., Pons, B., and Ntanos, D. A. 2004. Grain quality variation and relationships with morpho-physiological traits in rice (*Oryza sativa* L.) genetic resources in Europe. Field Crops Research 86 (2-3): 115-130.

Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. Methods in Enzymology 148: 350-382.

Lin, J., Shi, C., Wu, M., and Wu, J. 2005. Analysis of genetic effects for cooking quality traits of Japonica rice across environments. Plant Science 168 (6): 1501-1506.

Little, R. R., Hilder, G. B., and Dawson, E. H. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. Cereal Chemistry 35: 111-126.

Liu, R. H. 2007. Whole grain phytochemicals and health. Journal of Cereal Science 46 (3): 207-219.

Mahalingam, L. and Nadarajan, N. 2010. Genetic analysis of grain quality characteristics of two line rice hybrids. Electronic Journal of Plant Breeding 1 (4): 983-988.

Rabiei, B., and Ali-Hossein Tayefeh, S. 2015. Evaluating of gene actions controlling grain cooking quality related traits in rice varieties. Cereal Research 5 (1): 17-31 (in Persian).

Sabouri, H., Sabouri, A., and Navvabpour, S. 2012. Investigation of genetic control of traits related to salinity tolerance in rice seedling using line × tester method. Journal of Crop Production and Processing 1 (2): 45-63 (in Persian).

Sadeghi, S. M., Samizadeh, H., and Allahgholipour, M. 2010. Evaluation of combining ability of rice lines and cultivars used diallel analysis. Iranian Journal of Field Crop Science 41 (1): 131-139 (in Persian).

Sharifi, P., and Eslami, A. 2012. Genetic effects of some nutrient quality traits in rice. Seed and Plant Improvement Journal 28-1 (3): 445-461 (in Persian).

Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y., and Bao, J. 2009. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. Journal of Cereal Science 49 (1): 106-111.

Shi, G., Zhu, J., Yang, X., Yu, Y., and Wu, J. 1999. Genetic analysis for protein content in Indica rice. Euphytica 107: 135–140.

Waling, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., and Van der Lee, J. J. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi. Part 7, plant analysis procedures. Wageningen Agriculture University. Netherland.

Won, J. G., Yoshida, T., and Uchimura, Y. 2002. Genetic effects on amylose and protein contents in the crossed rice seeds. Plant Production Science 5 (1): 17-21.